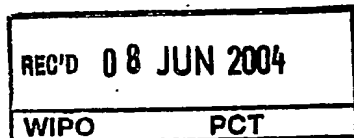


EP04/50546 13.05.2004



**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

BEST AVAILABLE COPY

Aktenzeichen: 103 44 067.4

Anmeldetag: 23. September 2003

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

Bezeichnung: Optimale Tilt-Einstellung in einem WDM-Link
unter Verwendung der Power Preemphase

IPC: H 04 J 14/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 7. Mai 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Holß



1. Welches technische Problem soll durch Ihre Erfindung gelöst werden?

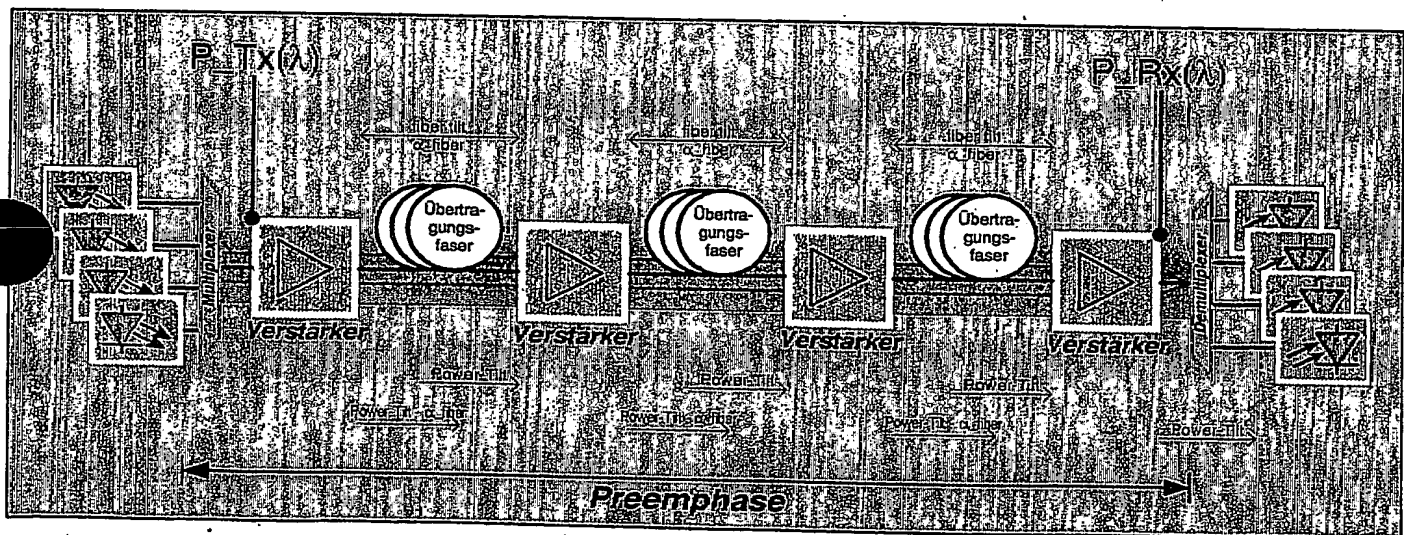
Optische Verstärker weisen eine Wellenlängenabhängigkeit des Gewinns auf, die durch die üblicherweise eingesetzten Glättungsfilter nicht vollständig behoben wird. Dadurch akkumulieren sich die Leistungsunterschiede zwischen einzelnen Kanälen beim Durchlaufen einer optischen Übertragungsstrecke oder eines optischen Netzes, so daß die Kanäle stark unterschiedliche Signal-Rauschleistungsverhältnisse (SNR, Signal-to-Noise Ratio) und Leistungen an den Empfängern besitzen. In Punkt-zu-Punkt-Verbindungen wird daher häufig ein unter dem Namen „Preemphasis“ bekanntes Verfahren zur Nivellierung der SNR-Werte eingesetzt, das in [1] beschrieben wurde. Dabei werden anhand der am Streckenende gemessenen SNR-Verteilung die senderseitigen Kanalleistungen in einem iterativen Verfahren solange nachgeführt, bis sich für alle Kanäle dasselbe SNR am Streckenende ergibt. Die gängigen Messmethoden der SNR-Verteilung am Streckenende sind jedoch auf Kanäle im 100 GHz Raster beschränkt und sehr zeitaufwendig (separate Messungen für Kanalleistungen und ASE-Leistungen), so daß Zeitanforderungen in dynamischen optischen Netzen (z.B. max. 10 sec für einen Kanal-Upgrade) nicht erfüllt werden.

2. Wie wurde dieses Problem bisher gelöst?

Ein Verfahren zur Lösung dieses Problems ist in der Erfindungsmeldung „Kanalleistungsmanagement in WDM-Netzen“ sowie eine Erweiterung in „Adaptives Kanalleistungsmanagement in WDM links“ für Punkt-zu-Punkt-Strecken beschrieben. Im folgenden wird dargelegt, wie dieses Verfahren noch weiter verbessert und damit die Leistungsfähigkeit von WDM-Netzen und -strecken abermals gesteigert werden kann.

3. In welcher Weise löst Ihre Erfindung das angegebene technische Problem (geben Sie Vorteile an)?

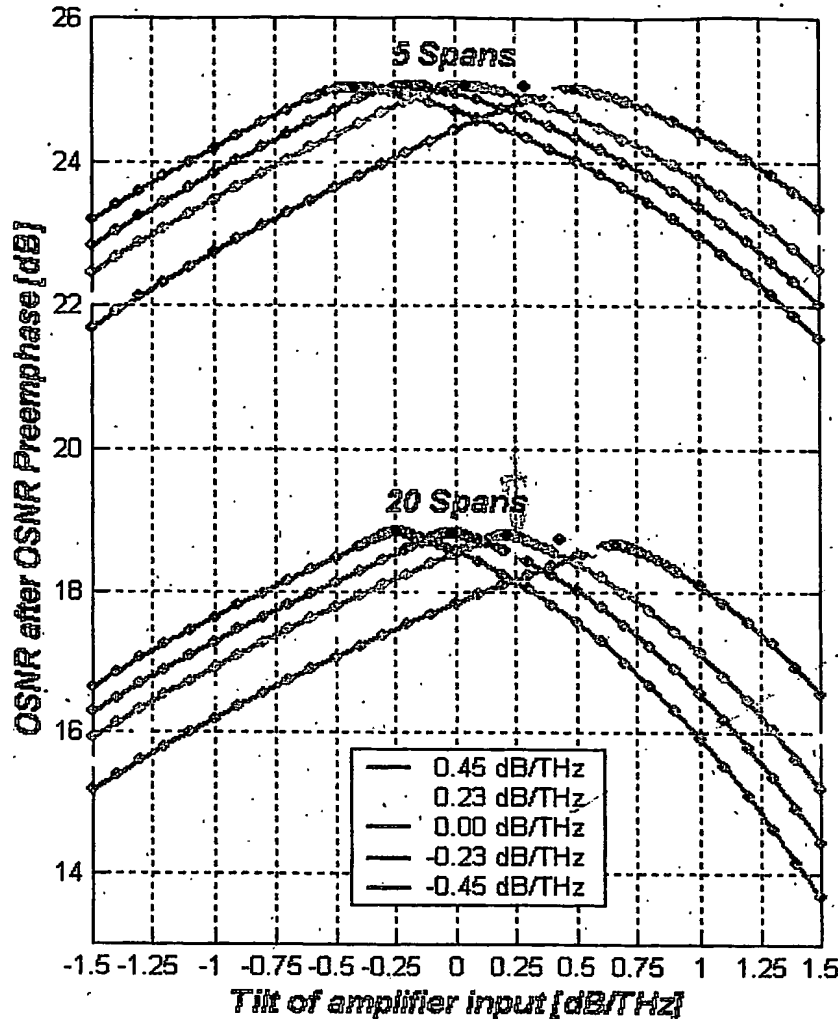
Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch eine Punkt-zu-Punkt-Stecke; es könnte sich stattdessen aber genauso gut um eine Teilstrecke eines optischen Netzes handeln. Ein besonderes Merkmal dieser Strecke ist, dass die verwendeten optischen Verstärker derart angesteuert bzw. geregelt werden können, dass die Steigung des optischen Leistungsspektrums am Ausgang eines jeden Verstärkers einen vorgegebenen Wert aufweist.



Eine wichtige Kenngröße des im folgenden beschriebenen Verfahrens ist die Steigung des Leistungsspektrums, die als die Steigung einer Gerade definiert ist, die die logarithmische Leistungsverteilung über der Trägerfrequenz im Sinne einer minimalen Summe der Fehlerquadrate annähert (lineare Regression). Diese Steigung wird im folgenden als Power-Tilt bezeichnet und hat die Einheit dB/THz.

Ziel des Verfahrens ist es, durch optimale Einstellung des Power-Tilts am Eingang eines jeden Verstärkers das sich nach Durchführung einer Preemphasis ergebende OSNR zu optimieren. Wie die folgende Abbildung zeigt, gibt es für jede Steigung der Rauschkurve, die im übrigen als identisch für alle Verstärker innerhalb des Preemphasis-Abschnitts angenommen wurde, genau einen Power-Tilt-Wert am Eingang der Verstärker, der zu einem optimalen Ergebnis führt. Ferner fällt auf, dass das Optimum bei kleiner Anzahl an Streckenabschnitten dem Tilt der Rauschkurve entspricht (siehe Kurven für 5 Spans). Bei größerer Anzahl an Streckenabschnitten (siehe Kurve für 20 Spans) verschieben sich die Maxima zu größeren Tilt-Werten. Im folgenden wird beschrieben, wie

di eser optimale Power-Tilt-Wert bestimmt werden kann und wie diese Optimierung mit dem Verfahren der OSNR-Preemphase, die den Stand der Technik darstellt, und der Power-Preemphase verbunden werden kann.



Verwendung der in [1] beschriebenen OSNR-Preemphase werden in einem ersten Schritt die EDFAs so eingestellt, dass der Power-Tilt am Eingang des jeweils nachfolgenden EDFAs und am Ausgang des Preamplifier Streckenende verschwindet (Power-Tilt := 0). Daraufhin wird das OSNR (optical signal to noise ratio) des Ausgangsspektrums bestimmt. Wird nun der Power-Tilt an den Verstärkereingängen so eingestellt, dass er dem negativen Tilt des im logarithmischen Maßstab angegebenen OSNRs entspricht, wird die nachfolgend durchgeführte OSNR-Preemphase zu einem optimalen Ergebnis führen.

Die Power-Preemphase bietet im Vergleich zur OSNR-Preemphase den Vorteil einer deutlich reduzierten Durchführungszeit und kann auch in Systemen und Netzen eingesetzt werden, in denen eine OSNR-Messung nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht möglich ist. Da das OSNR in diesem Fall nicht bekannt ist, muß der optimale Power-Tilt-Wert auf andere Art und Weise bestimmt werden. Dazu wird wie folgt vorgegangen:

In einem ersten Schritt werden – wie schon bei der OSNR-Preemphase – die EDFAs so eingestellt, dass der Power-Tilt am Eingang des jeweils nachfolgenden EDFAs und am Ausgang des Preamplifier am Streckenende verschwindet (Power-Tilt := 0). Aus den am Eingang des Boosters und am Ausgang des Preamplifiers gemessenen linearen Leistungsspektren wird ein Gewinn $G_{link}(\lambda)$ berechnet. Aus dieser Größe kann nach dem bereits in vorhergehenden Erfindungsmeldungen beschriebenen Verfahren der Power-Preemphase das Sollspektrum am Booster-Eingang bestimmt werden, wobei eine normierte Korrekturfunktion $Q(\lambda)$

$$Q(\lambda) = \frac{G_{link}^{-k}(\lambda)}{\langle G_{link}^{-k}(\lambda) \rangle} \quad \text{mit} \quad G_{link}(\lambda) = \frac{P_{RX}(\lambda)}{P_{TX}(\lambda)}$$

Verwendung findet. Der Faktor k wurde zuvor von einem Planungspool bestimmt. Alternativ kann auch bei äquidistanten Spans die Gleichung

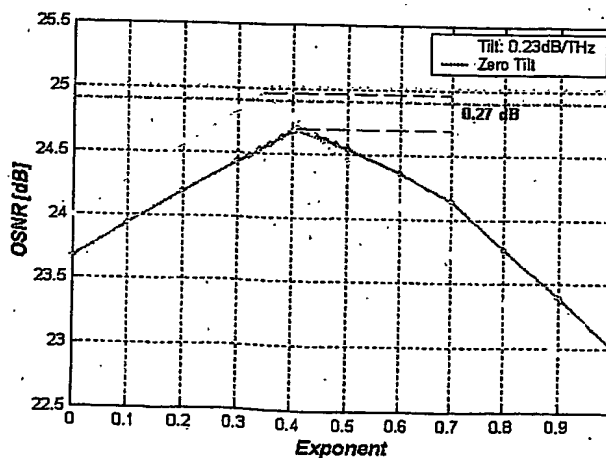
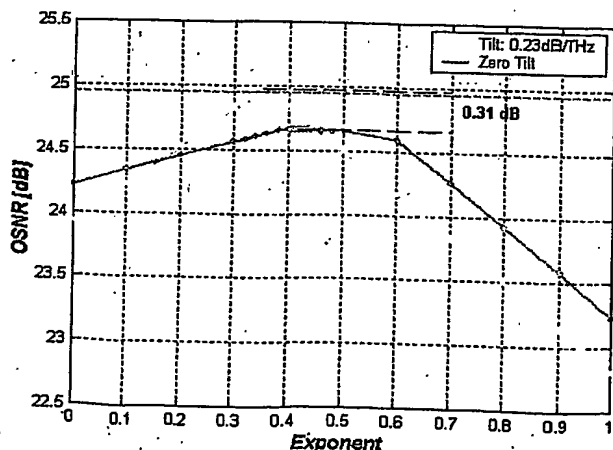
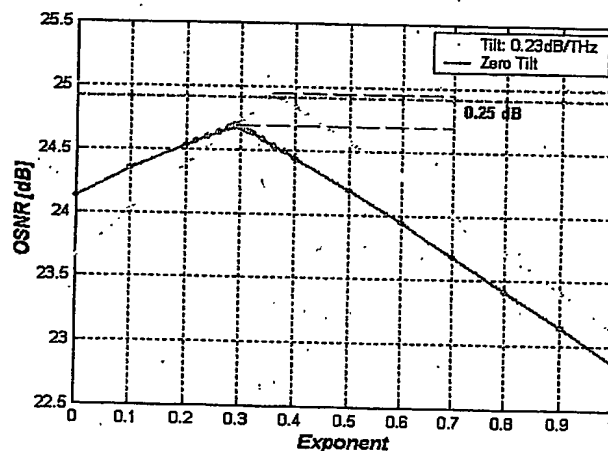
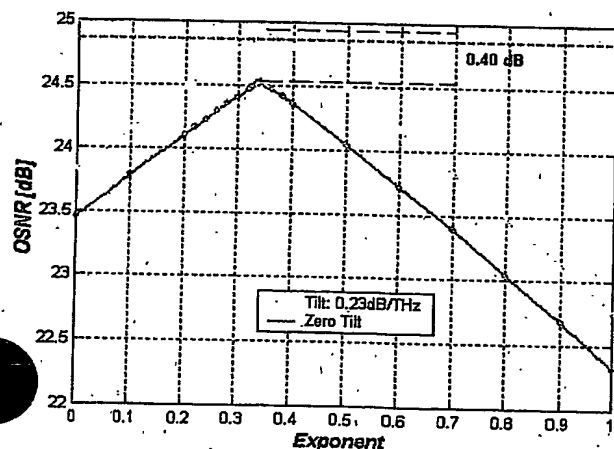
$$Q(\lambda) = \frac{G_{\text{link}}(\lambda) - 1}{G_{\text{link}}(\lambda) - G_{\text{link}}^{N/(N+1)}(\lambda)}$$

verwendet werden, wobei N für die Anzahl an identischen Spans im Link steht. Der optimale Power-Tilt am Eingang der Verstärker entspricht nun dem Tilt des Produkts aus dieser Größe und der effektiven Rauschzahl F_{eff} , wobei der Begriff der effektiven Rauschzahl weiter unten erläutert wird. Näherungsweise können auch der Tilt der Größe Q (in dB/THz) und der Tilt der effektiven Rauschzahl (ebenfalls in dB/THz) zum resultierenden Power-Tilt addiert werden.

Die am Booster-Eingang einzustellende Leistungsverteilung berechnet sich unter der Bedingung gleichbleibender mittlerer Eingangsleistung nun wie folgt:

$$P_{\text{Tx}}(\lambda) = \frac{\langle P_{\text{Tx}}(\lambda) \rangle_{\text{Beginn}}}{\langle Q(\lambda) \cdot F_{\text{eff}}(\lambda) \rangle} \cdot Q(\lambda) \cdot F_{\text{eff}}(\lambda).$$

Die in dieser Gleichung auftretenden Größen sind im linearen Maßstab einzusetzen. Ein wesentlicher Vorteil der Optimierung wird aus den folgenden Abbildungen ersichtlich. Dargestellt ist das OSNR als Funktion des Exponenten k für einen Link mit 5 Spans, für den der optimale Tiltwert 0.23 dB/THz ist. Bei den einzelnen Ergebnissen wurden unterschiedliche Gewinnprofile angenommen. Für die Anwendbarkeit des Verfahrens stellt die Tatsache, dass der optimale Wert des Exponenten k nahezu unabhängig vom Gewinnprofil der Verstärker ist, wenn der Power-Tilt den optimalen Wert annimmt, eine bedeutende Verbesserung im Vergleich zu einer Regelung auf verschwindenden Power-Tilt dar, bei der deutliche Unterschiede beobachtet werden.



Die effektive Rauschzahl F_{eff} wird am besten von einem Planungsstool berechnet, das typische Werte für den Gewinnverlauf G_k und die Rauschzahl F_k der einzelnen Verstärker kennt. Mit den Streckendämpfungen a_k ergibt sich nun für N Spans und $(N+1)$ Verstärker die effektive Rauschzahl zu

$$F_{\text{eff}}(\lambda) = \frac{\sum_{k=0}^N F_k(\lambda) \cdot G_k(\lambda) \cdot \prod_{j=k+1}^N a_j(\lambda) \cdot G_j(\lambda)}{\sum_{k=0}^N G_k(\lambda) \cdot \prod_{j=k+1}^N a_j(\lambda) \cdot G_j(\lambda)}$$

Sämtliche in dieser Gleichung auftretende Größen sind prinzipiell wellenlängenabhängig. Sollte die Wellenlängenabhängigkeit jedoch nicht bekannt sein, kann auch mit approximierten Größen gearbeitet werden.

Bei identischen Verstärkern entspricht die effektive Rauschzahl der Rauschzahl eines einzelnen Verstärkers.

Zur Realisierung: Alternativ kann anstelle einer Messung des Leistungsspektrums am Eingang des Boosters auch eine Messung an dessen Ausgang erfolgen und eine entsprechende Berechnung der benötigten Booster-Ausgangs- und Eingangsleistungen erfolgen.

Literatur:

- [1] A. R. Chraplyly, J. A. Nagel and R. W. Tkach: "Equalization in Amplifier WDM Lightwave Transmission Systems", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 4, No. 8, August 1992, pp. 920-922

6. Zur weiteren Erläuterung sind als Anlagen beigefügt:

- 0 Blatt der Darstellung eines oder mehrerer Ausführungsbeispiele der Erfindung;
(falls möglich, Zeichnungen im PowerPoint- oder Designer-Format anfertigen)
- 0 Blatt zusätzliche Beschreibungen (z.B. Laborberichte, Versuchsprotokolle);
- 0 Blatt Literatur, die den Stand der Technik, von dem die Erfindung ausgeht, beschreibt; *)
- 0 sonstige Unterlagen (z.B. Disketten, insbesondere mit Zeichnungen der Ausführungsbeispiele):

*) Bitte Fotokopien oder Sonderdrucke aller zitierten Veröffentlichungen (Aufsätze vollständig; bei Büchern die relevanten Kapitel) mit vollständigen bibliographischen Daten beifügen.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.